

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Off nlegungsschrift  
10 DE 196 04 272 A 1

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
H 01 J 37/073  
H 01 J 1/34

21 Aktenzeichen: 196 04 272.0  
22 Anm ldetag: 6. 2. 96  
43 Offenlegungstag: 8. 8. 96

DE 196 04 272 A 1

30 Unionspriorität: 32 33 31  
06.02.95 JP 018258/95

71 Anmelder:  
National Research Institute For Metals, Tsukuba,  
Ibaraki, JP

74 Vertreter:  
Wagner, K., Dipl.-Ing.; Geyer, U., Dipl.-Phys.  
Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 80538 München

72 Erfinder:  
Kimoto, Takayoshi, Tsukuba, Ibaraki, JP

54 Laserbestrahlungs-Elektronenkanone

57 Zusammenfassend sieht die Erfindung Mittel vor zur Laserbestrahlung eines spitzen Teils oder eines einen kleinen Krümmungsradius aufweisenden Teils eines Fadens und zwar für eine Elektronenkanone der thermischen Feldimis-sionsbauart oder der thermionischen Emissionsbauart.

DE 196 04 272 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Laserbestrahlungs-Elektronenkanone. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf eine neue Bauart einer Elektronenkanone, die Elektronenstrahlen sehr hoher Intensität erzeugen kann und die vorzugsweise auf einem technologischen Gebiet Anwendung findet, wo solche Elektronenstrahlen erforderlich sind, wie beispielsweise bei Elektronenmikroskopen der Transmissions- oder Übertragungsbauart, die Elektronenmikroskope mit hoher Auflösung für ein kryogenes System aufweisen, ferner findet die Erfindung Anwendung bei Elektronenmikroskopen der Abtastbauart und bei der Elektronenstrahlholografie.

Eine Elektronenkanone der thermionischen Emissionsbauart oder Feldemissionsbauart ist in herkömmlicher Weise bekannt für eine Elektronenkanone verwendendes Elektronenmikroskop. Ein Merkmal einer Elektronenkanone der thermionischen Emissionsbauart besteht darin, daß Thermoelektronen von der Oberfläche eines einen hohen Schmelzpunkt besitzenden Metalls abgeleitet werden und zwar durch Erhitzen desselben auf hohe Temperaturen und durch Beschleunigung dieser Thermoelektronen. Andererseits erzeugt die Elektronenkanone der Feldemissionsbauart Elektronenstrahlen und beschleunigt diese in einem starken elektrischen Feld, welches durch einen scharfen, spitzen Teil des Fadens mit einem kleinen Krümmungsradius erzeugt wird. Diese Elektronenkanone gibt es in zwei Bauarten. Die eine ist die thermische Feldemissionsbauart, bei der ein derartiger Faden erhitzt wird, die andere Bauart ist die Kaltfeldemissionsbauart, bei der der Faden nicht erhitzt wird. Die Elektronenkanone der Feldemissionsbauart hat einige Vorteile, insofern, als Fokussierungselektronenstrahlen mit hoher Stromdichte, d. h. mit hoher Intensität die ungefähr zwei Größenordnungen größer ist als bei der Bauart mit thermionischer Emission erzeugt werden und zwar infolge eines quantenmechanischen Tunneleffektes. Die höhere Intensität und auch die höhere Kohärenz der Fokussierelektronenstrahlen verbessert die Positionspräzision der Elementaranalyse durch Elektronenmikroskope in den Submikronbereichen, was eine Verbesserung der Qualitäten des Bildes und der Auflösungsleistung bei der Kurzzeitfotografie zur Folge hat und eine Verbesserung der Elektronenstrahlholografie ermöglicht.

Tatsächlich haben jedoch diese konventionellen Elektronenkanonen eine Grenze hinsichtlich der erzeugten Elektronenstrahlen.

Die vorliegende Erfindung sieht eine Laserbestrahlungs-Elektronenkanone vor, die eine Elektronenkanone der thermischen Feldemissionsbauart oder der thermionischen Emissionsbauart aufweist und ferner Mittel zur Laserbestrahlung eines spitzen oder Endteils eines Fadens der Elektronenkanone.

Im folgenden werden nunmehr einige Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnung beschrieben; in der Zeichnung zeigt:

Fig. 1 eine schematische Ansicht eines spitzen Teils eines Fadens einer Laserbestrahlungs-Elektronenkanone;

Fig. 2 einen Schnitt eines Ausführungsbeispiels einer Laserbestrahlungs-Elektronenkanone;

Bei der erfindungsgemäßen Laserbestrahlungs-Elektronenkanone wird durch einen Laser ein Spitzen- oder Endteil eines Fadens wie oben erwähnt bestrahlt. Wenn, wie in Fig. 1 gezeigt, Photonen (3) mit einer Frequenz  $\nu$

auf die Oberfläche eines spitzen Teils (1) des Fadens gestrahlt werden, so erhalten die freien Elektronen (2) in der Nähe der Oberfläche des Fadens Energie  $h\nu$  (das Symbol  $h$  bedeutet die Plancksche Konstante) und zwar infolge des photoelektrischen Effektes. Wenn eine Summe dieser Energie und der diesen freien Elektronen (2) erteilten thermischen Energie durch sowohl Laserbestrahlungserwärmung als auch elektrische Erhitzung die Austrittsarbeit oder Arbeitsfunktion  $W$  übersteigt, wobei es sich hier um die minimale Energie freier Elektronen (2) zum Austritt aus der Oberfläche handelt, so werden Elektronen (4) von Gebieten in der Nähe der Fadenoberfläche emittiert. Anders ausgedrückt hat die kinetische Energie der Elektronen eine Beziehung wie folgt:

$$\left(\frac{1}{2}\right)mv^2 = h\nu + ckT - W > 0$$

$h\nu$ : Energie des Laserphotons (gegeben durch den photoelektrischen Effekt)

$ckT$ : thermische Energie

$c = 0 - 1$

$k$  = Boltzmannsche Konstante

$T$  = absolute Temperatur eines Spitzenteils des Fadens

$W$ : Arbeitsfunktion.

Diese Beziehung gibt die Bedingung für vom Faden zu emittierende Elektronen an. Die Laserbestrahlung, die elektrische Erwärmung oder Erhitzung des Fadens und des Krümmungsradius  $R$  würden vorzugsweise eingestellt, um die oben erwähnte Bedingung zu erfüllen. Die Austrittsarbeit (Arbeitsfunktion)  $W$  wird als eine Funktion des Radius ( $R$ ) des spitzen Teils ausgedrückt. Wenn der Radius ( $R$ ) abnimmt, so wird die Arbeitsfunktion  $W$  kleiner, da die elektrische Feldstärke um den spitzen Teil (1) abnimmt und zwar hervorgerufen durch die Potentialdifferenz zwischen dem Faden und der Ableitungselektrode zum Ableiten von Elektronen emittiert von der Fadenoberfläche. Dies hat die Emission von viel mehr Elektronen (4) zur Folge.

Im Falle der Elektronenkanone der Feldemissionsbauart ist der Radius ( $R$ ) so klein (ungefähr eine Größenordnung von 100 nm), daß viel mehr Elektronen (4) infolge des Tunneleffektes emittiert werden.

Infolgedessen können Elektronenstrahlen in sehr hoher Intensität durch einen Synergieeffekt erzeugt werden und zwar des photoelektrischen Effektes, des thermischen Effektes, der Erhitzung und des quantenmechanischen Tunneleffektes infolge des Submikronradius der Krümmung.

Wenn die Wellenlänge des Lasers abnimmt, so steigt wegen des Photoemissionseffektes die den Elektronen erteilte Energie an. Im allgemeinen wird folgendes in Betracht gezogen: die Wellenlängenabhängigkeit der Quanteneffizienz, die das Verhältnis (%) ist, der Anzahl erzeugter Elektronen zu der bestrahlter Photonen. Es wäre erwünscht, die Wellenlänge derart auszuwählen, daß es sie dem besten Zustand oder der besten Bedingung entspricht: viele Elektronen werden entsprechend der Austrittsarbeit oder Arbeitsfunktion emittiert, die Form und die elektrische Spannung angelegt an den Faden werden berücksichtigt. Im Falle eines Wolframfadens mit einer Arbeitsfunktion von 4,45 eV, der bei einer Elektronenkanone der thermionischen Emissionsbauart und auch bei einer der Feldemissionsbauart verwendet wurde, wird die Elektronenemission nur durch den Photoemissionseffekt erreicht und zwar durch Bestrahlung der Photonen deren Wellenlänge kleiner als 273 nm ist. Im Falle eines Fadens hergestellt aus dem Material mit niedrigerer Austrittsarbeit oder Arbeitsfunktion, wie

beispielsweise  $\text{LaB}_6$ , dessen Arbeitsfunktion 2,66 eV ist, ist es nicht notwendig, Photonen zu wählen, deren Wellenlänge kleiner ist als die von sichtbaren Strahlen. Es wird jedoch in Betracht gezogen, daß eine kürzere Wellenlänge zu bevorzugen ist, solange die Wellenlänge einer höheren Quanteneffizienz entspricht.

Die Anzahl der von dem spitzen Teil emittierten Elektronen steigt mit dem Anstieg der den Faden bestrahlenden Laserintensität an. Impulswellen sind für die kurzzeitbelichtete Abbildung nicht geeignet, da die Anzahl der von dem Faden emittierten Elektronen sich wie ein Impuls ändert und insofern als die Temperatur einer durch Elektronenstrahlen bestrahlten Probe sich ebenfalls wie ein Impuls bei der Änderung der Strahlen ändert. In diesem Zusammenhang kann man sagen, daß eine kontinuierliche Laserbestrahlung gegenüber einer impulsartigen Laserbestrahlung zu bevorzugen ist. Solche Probleme aber wären nicht kritisch im Falle, daß die Belichtungszeit für die Abbildung wesentlich länger ist als die Impulsdauer.

In jedem Falle würde die geeignetste Wellenlänge, die eine große Anzahl von emittierten Elektronen zur Folge hat, derart ausgewählt werden, daß man auch solche Parameter in Betracht zieht wie das Fadenmaterial (Arbeitsfunktion und Schmelzpunkt), die Form, die angelegte elektrische Spannung, die Temperatur und die Quanteneffizienz.

Was die Materialien für einen Faden anlangt, so sind Wolfram (W) und hexagonales Lanthanborid ( $\text{LaB}_6$ ) die populärsten Materialien und wurden konventioneller Weise verwendet. Kürzlich wurde auch  $\text{ZrO/W}$  als ein wahlweiser Faden für die Elektronenkanone der Feldemissionsbauart angewandt.

Diese Materialien sind exzellent insofern, als ihre Schmelzpunkte hoch liegen, die Austrittsarbeit (Arbeitsfunktion) niedrig ist, die Bearbeitung zur Ausbildung einer scharfen Spitze verfügbar ist und daß diese Materialien ferner im Vakuum und bei hohen Temperaturen über eine lange Zeit (lange Lebensdauer) stabil sind. Bei der Auswahl der geeignetsten Wellenlänge werden diese Materialien für den Faden wie auch mehrere Eigenschaften des Lasers in Betracht gezogen.

Die erfindungsgemäße Laserbestrahlungs-Elektronenkanone kann Elektronenstrahlen mit ultrahoher Intensität erzeugen, und zwar entsprechend einem synergistischen Effekt aus dem photoelektrischen Effekt bewirkt durch die Laserbestrahlung des spitzen Teils des Fadens der Elektronenkanone der thermischen Feldemissionsbauart oder der thermionischen Emissionsbauart, des quantenmechanischen Tunneleffektes und des thermischen Effektes der Erhitzung. Im Falle, daß die Elektronenkanone der thermionischen Emissionsbauart verwendet wird, kann die Erzeugung von Elektronenstrahlen mit ultrahoher Intensität mit geringen Kosten erreicht werden.

Die Elektronenstrahlen mit höherer Intensität sind für Elektronenmikroskope aus folgenden Gründen vorteilhaft:

- a) die Bildqualität, nämlich das Signal zu Rauschverhältnis wird bei kurzzeitig belichteter Abbildung verbessert. Die Kurzzeitbelichtungsabbildung überwindet beispielsweise die Verschlechterung der Auflösungsleistung, die durch geringe Drifts oder Schwingungen der Probe in der kryogenischen Observation hervorgerufen wird. Eine Kombination der Kurzzeitfotografie und der Elektronenstrahlen mit hoher Intensität verbessert die

Auflösungsleistung in der kryogenen Observation. b) die Kohärenz der Elektronenwelle wird natürlich mit hoher Intensität verbessert und daher ist die Elektronenstrahlholografie verfügbar. Die Elektronenstrahlholografie ist anwendbar auf eine direkte Observation des Magnetfeldes in dem Material. Dies sei als Beispiel genannt. Eine Observation des Fluxoidquantums in Oxidsuperleitern ist während ihres superleitenden Zustandes verfügbar. Die Elektronenstrahlholografie selbst verbessert auch die Auflöseleistung der Elektronenmikroskope. Ausgezeichnete Funktionen der Elektronenstrahlholografie werden mit hoher Intensität erwartet.

c) die Auflösungsleistung der Elektronenmikroskope wird durch die Kohärenzverbesserung verbessert. Eine solche Verbesserung ist unter bestimmten Bedingungen der sogenannten Informationsgrenze gegeben.

d) die Analysezeit der analytischen Elektronenmikroskope kann verkürzt werden. Die Quantität oder Größe der Probendrift während der Analyse der Elemente wird klein und die Präzision der Analysepositionen wird verbessert. Im allgemeinen wird mehr als die kritische Zahl der Röntgenstrahlphotonen, erzeugt durch die Elektronenbestrahlung notwendig, um eine präzise Analyse auszuführen.

Die Elektronenstrahlen, erzeugt durch die Laserbestrahlungs-Elektronenkanone haben mehrere der im folgenden aufgezählten Merkmale:

- i) Die Energieverteilung der Elektronen ist schmal.
- ii) Die kinetische Energie ist kontinuierlich stabil.
- iii) Die Intensität ist kontinuierlich stabil mindestens in einem Intervall von mehr als einer Sekunde.
- iv) Die Fokussierung ist ausgezeichnet.

#### Beispiel

Es sei nunmehr ein Beispiel erläutert, um die Erfindung im einzelnen darzulegen. Die Erfindung ist freilich nicht auf das folgendes Ausführungsbeispiel beschränkt.

Wie in Fig. 1 bzw. 2 gezeigt, wird ein von einem Laseroszillator (6) emittierter Laser oder Laserstrahl durch eine Linse (7a und 7b) eingestellt und seine Richtung wird durch Reflektionsspiegel (8a, 8b) ausgerichtet. Der Laser oder Laserstrahl wird in die Innenseite oder das Innere einer Elektronenkanone (18) durch ein Fenster (9) eingeführt, wobei diese aus einer Linse (10) und einem transparenten Glas (11) besteht. Sodann wird der Laser durch einen weiteren Reflektionsspiegel (16) oder einen konkaven Spiegel fokussiert und gelangt zu einem spitzen (einem einen geringen Krümmungsradius) Teil eines Fadens (12). Die Fokussierung und Ausrichtung der Laserstrahlung kann dadurch durchgeführt werden, daß man den spitzen Teil des Fadens (12) beobachtet, wobei das Bild des spitzen Teils durch eine Kamera (15) durch ein Beobachtungs- oder Observationsfenster (14) vergrößert werden kann. Diese Fokussierung und Ausrichtung wird durch Steuerung der Linse (7a, 7b und 10) erreicht und ferner durch die Reflektionsspiegel (8a, 8b und 16). Der Faden (12) wird durch die Laserstrahlung erhitzt und seine Temperatur wird durch elektrische Erhitzung gesteuert. Bei dieser Temperatursteuerung wird die Fadentemperatur detektiert und durch ein Py-

roskop durch Fenster (14) reguliert. Eine große Anzahl von Elektronen wird von der Oberfläche des Fadenspitzen, der durch den Laser bestrahlt wird, emittiert und durch eine Ableitungselektrode (13), die auf eine Plusspannung eingestellt ist, abgeleitet. Diese Elektronen werden durch einen Fokussierelektromagneten (17) fokussiert und sodann werden sie zur einer Probenkammer eines Mikroskops durch ein Beschleunigungsrohr geleitet. Die Laserbestrahlungs-Elektronenkanone kann auch bei Vorrichtungen und Technologien Einsatz finden, bei denen eine Elektronenkanone mit hoher Intensität und hoher Qualität erforderlich ist.

Zusammenfassend sieht die Erfindung Mittel vor zur Laserbestrahlung eines spitzen Teils oder eines einen kleinen Krümmungsradius aufweisenden Teils eines Fadens und zwar für eine Elektronenkanone der thermischen Feldemissionsbauart oder der thermionischen Emissionsbauart.

#### Patentansprüche

20

1. Eine Laserbestrahlungs-Elektronenkanone, die folgendes aufweist: eine Elektronenkanone der thermischen Feldemissionsbauart oder der thermionischen Emissionsbauart und Mittel zur Laserbestrahlung eines spitzen Teils eines Fadens der Elektronenkanone. 25
2. Elektronenkanone nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Laseroszillator (6) vorgesehen ist. 30
3. Elektronenkanone nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Laseroszillator (6) durch Linsenmittel (7a, 7b) eingestellt wird und daß seine Richtung vorzugsweise durch Reflektionsspiegelmittel (8a, 8b) ausgerichtet wird. 35
4. Elektronenkanone nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Laserstrahlung in die Elektronenkanone (18) durch Fenstermittel (9) eingeleitet wird. 40
5. Elektronenkanone nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Fenstermittel Linsenmittel (10) und ein transparentes Glas (11) aufweisen.
6. Elektronenkanone nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser durch einen weiteren Reflektionsspiegel (16) oder einen konkaven Spiegel fokussiert wird. 45
7. Elektronenkanone nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Fokussierung und die Ausrichtung durch Steuerung der Linsenmittel (7a, 7b, 10) und/oder Reflektionsspiegel (8a, 8b, 16) erreicht wird. 50
8. Elektronenkanone nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Faden (12) durch Laserbestrahlung erhitzt und die Temperatur durch elektrische Erhitzung gesteuert wird. 55
9. Elektronenkanone nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatursteuerung auf der Detektion der Fadentemperatur beruht und ein Pyroskop die Regulierung vornimmt. 60

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

65

*Fig. 1*

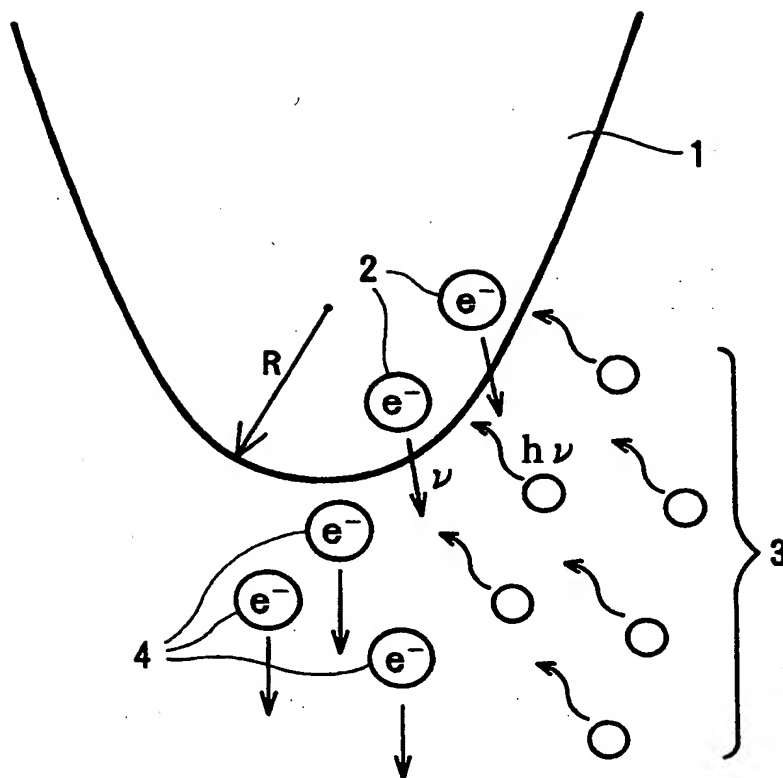
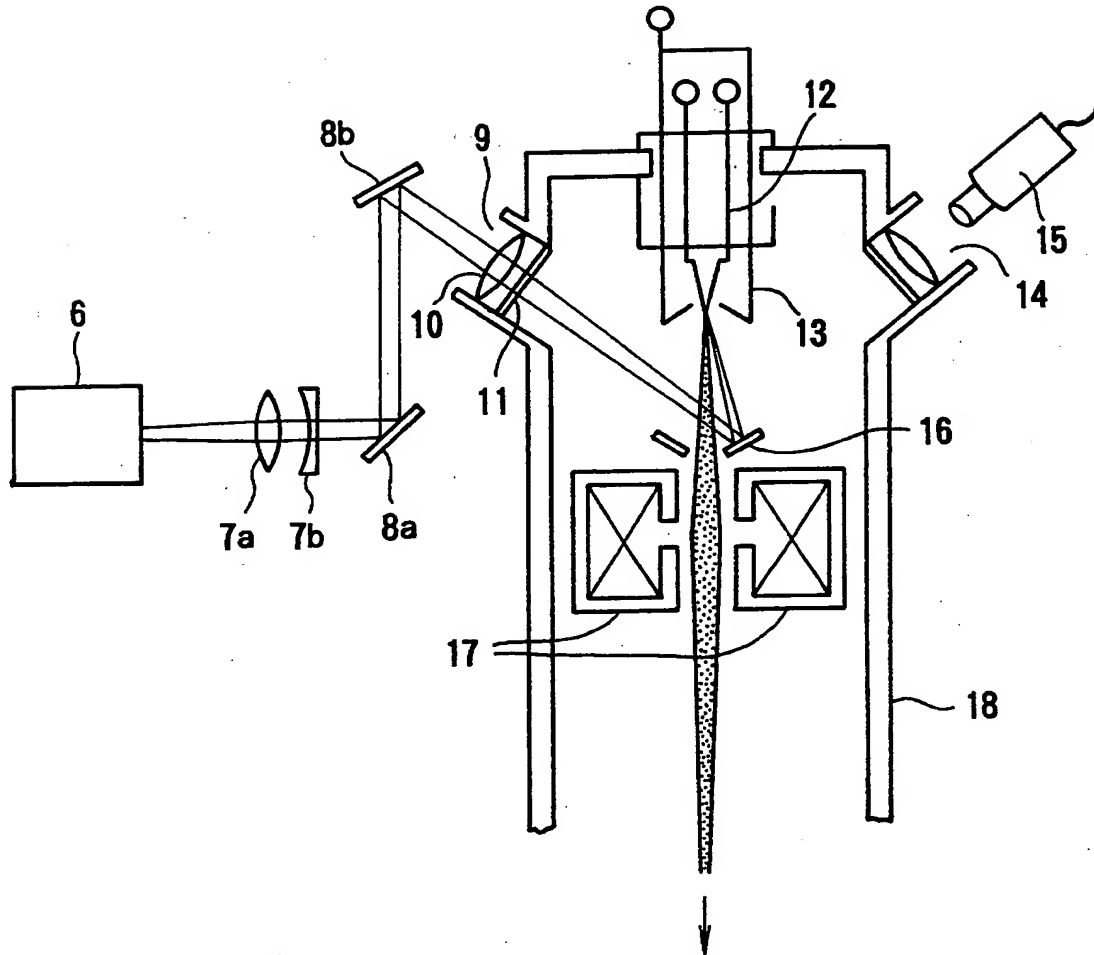


Fig. 2



# ENGLISH TRANSLATION OF DE 196 04 272 A1

## Laser irradiation electron gun

To summarize, the invention provides means for the laser irradiation of a pointed part, or of a part  
5 having a small radius of curvature, of a filament, to be precise for an electron gun of the thermal field emission design or of the thermionic emission design.

## Description

The invention relates to a laser irradiation electron gun. In particular, the invention relates to a new design of an electron gun which can generate electron beams of very high intensity and which is preferably employed in a technological area where such electron beams are necessary, such as, for example, in electron microscopes of the transmission design which have electron microscopes having a high resolution for a cryogenic system; furthermore, the invention is employed in electron microscopes of the scanning design and in electron beam holography.

15 An electron gun of the thermionic emission design or field emission design is known in a conventional manner for an electron microscope that uses an electron gun. One feature of an electron gun of the thermionic emission design is that thermoelectrons are dissipated from the surface of a metal having a high melting point, to be precise by heating said metal to high temperatures and by accelerating said thermoelectrons. On the other hand, the electron gun of the field emission design generates electron beams and accelerates them in a strong electric field generated by a sharp, pointed part of the filament having a small radius of curvature. This electron gun exists in two designs. One is the thermal field emission design, in which a filament of this type is heated, and the other design is the cold field emission design, in which the filament is not heated. The electron gun of the field emission design has some advantages, insofar as focusing electron beams having a high current density, i.e. having a high intensity, which is approximately two orders of magnitude greater than in the case of the design with thermionic emission, are generated, to be precise on account of a quantum mechanical tunnel effect. The higher intensity and also the higher coherence of the focusing electron beams improve the



position precision of the elementary analysis by  
electron microscopes in submicron ranges, which results  
in an improvement of the qualities of the image and of  
the resolution performance in high-speed photography  
5 and enables an improvement of electron beam holography.

In actual fact, however, these conventional electron  
guns have a limit with regard to the electron beams  
generated.

10

The present invention provides a laser irradiation  
electron gun which has an electron gun of the thermal  
field emission design or of the thermionic emission  
design, and furthermore means for the laser irradiation  
15 of a pointed or end part of a filament of the electron  
gun.

A number of exemplary embodiments of the invention will  
now be described below with reference to the drawing,  
20 in which:

Fig. 1 shows a diagrammatic view of a pointed part of  
a filament of a laser irradiation electron gun;

25 Fig. 2 shows a section of an exemplary embodiment of a  
laser irradiation gun.

In the laser irradiation electron gun according to the  
invention, a tip or end part of a filament is  
30 irradiated by a laser, as mentioned above. If, as shown  
in fig. 1, photons (3) with a frequency  $\vartheta$  are radiated  
onto the surface of a pointed part (1) of the filament,  
then the free electrons (2) in the vicinity of the  
surface of the filament obtain energy  $h\vartheta$  (the symbol  $h$   
35 denotes Planck's constant), to be precise on account of  
the photoelectric effect. If a sum of this energy and  
the thermal energy imparted to said free electrons (2)  
through both laser irradiation heating and electrical  
heating exceeds the work function  $W$ , which involves the

minimum energy of free electrons (2) for emerging from the surface, then electrons (4) are emitted from regions in the vicinity of the filament surface. To put it another way, the kinetic energy of the electrons has  
5 a relationship as follows:

$$(1/2)mv^2 = h\nu + ckT - W > 0$$

10  $h\nu$ : energy of the laser photon (given by the photoelectric effect)

$ckT$ : thermal energy

$c = 0 - 1$

$k$  = Boltzmann's constant

$T$  = absolute temperature of a tip part of the filament

15  $W$ : work function.

This relation specifies the condition for electrons to be emitted from the filament. The laser irradiation, the electrical heating or heating of the filament and  
20 the radius  $R$  of curvature would preferably be set to satisfy the abovementioned condition. The work function  $W$  is expressed as a function of the radius ( $R$ ) of the pointed part. If the radius ( $R$ ) decreases, then the work function  $W$  decreases since the electric field  
25 strength around the pointed part (1) decreases, to be precise due to the potential difference between the filament and the dissipating electrode for dissipating electrons emitted from the filament surface. This results in the emission of many more electrons (4).

30 In the case of the electron gun of the field emission design, the radius ( $R$ ) is so small (approximately an order of magnitude of 100 nm) that many more electrons (4) are emitted on account of the tunnel effect.

35 Consequently, it is possible to generate electron beams with very high intensity by means of a synergistic effect, to be precise of the photoelectric effect, the thermal effect, the heating and the quantum mechanical

tunnel effect on account of the submicron radius of curvature.

- If the wavelength of the laser decreases, then the energy imparted to the electrons rises owing to the photoemission effect. In general, the following is taken into consideration: the wavelength dependence of the quantum efficiency, which is the ratio (%) of the number of electrons generated to the photons radiated.
- It would be desirable to select the wavelength such that it corresponds to the best state or the best condition: many electrons are emitted in accordance with the work function, the form and the electrical voltage applied to the filament are taken into account.
- In the case of a tungsten filament having a work function of 4.45 eV, which was used in an electron gun of the thermionic emission design and also in one of the field emission design, the electron emission is only achieved through the photoemission effect, to be precise by irradiation of the photons whose wavelength is less than 273 nm. In the case of a filament produced from the material having a lower work function, such as, for example, LaB<sub>6</sub>, whose work function is 2.66 eV, it is not necessary to chose photons whose wavelength is less than that of visible beams. However, it is taken into consideration that a shorter wavelength is preferable as long as the wavelength corresponds to a higher quantum efficiency.
- The number of electrons emitted from the pointed part rises with the rise in laser intensity irradiating the filament. Pulse waves are not suitable for imaging with short-time exposure, since the number of electrons emitted from the filament changes like a pulse and insofar as the temperature of a sample irradiated by electron beams likewise changes like a pulse in the event of the beams changing. In this connection, it can be stated that continuous laser irradiation is preferable to pulsed laser irradiation. However, such

problems would not be critical in the case where the exposure time for the imaging is significantly longer than the pulse duration.

5 In any event, the most suitable wavelength resulting in a large number of emitted electrons would be selected in such a way as to also take into consideration parameters such as the filament material (work function and melting point), the form, the applied electrical  
10 voltage, the temperature and the quantum efficiency.

As far as the materials for a filament are concerned, tungsten (W) and hexagonal lanthanum boride ( $\text{LaB}_6$ ) are the most popular materials and have conventionally been  
15 used. Recently,  $\text{ZrO/W}$  has also been employed as an optional filament for the electron gun of the field emission design.

These materials are excellent insofar as their melting  
20 points are high, the work function is low, the processing for forming a sharp tip is available, and these materials are furthermore stable in a vacuum and at high temperatures over a long time (long lifetime). In the selection of the most suitable wavelength,  
25 consideration is given to these materials for the filament and also a plurality of properties of the laser.

The laser irradiation electron gun according to the  
30 invention can generate electron beams having ultra-high intensity, to be precise in accordance with a synergistic effect from the photoelectric effect brought about by the laser irradiation of the pointed part of the filament of the electron gun of the thermal  
35 field emission design or the thermionic emission design, the quantum mechanical tunnel effect and the thermal effect of heating. In the case where the electron gun of the thermionic emission design is used,

the generation of electron beams having ultra-high intensity can be achieved at low cost.

5 The electron beams having higher intensity are advantageous for electron microscopes for the following reasons:

10 a) the image quality, namely the signal-to-noise ratio, is improved in the case of imaging with short-time exposure. The short-time exposure imaging overcomes, for example, the impairment of the resolution performance caused by small drifts or oscillations of the sample in the cryogenic observation. A combination of high-speed photography and electron beams having high intensity improves the resolution performance in the cryogenic observation.

15 b) the coherence of the electron wave is naturally improved with high intensity and electron beam holography is therefore available. Electron beam holography can be applied to direct observation of the magnetic field in the material. This shall be mentioned as an example. An observation of the fluxoid quantum in oxide super conductors is available during their super conducting state. Electron beam holography itself also improves the resolution performance of electron microscopes. Excellent functions of electron beam holography are expected with high intensity.

25 c) the resolution performance of electron microscopes is improved as a result of the improvement in coherence. Such an improvement is given under specific conditions of the so-called information limit.

30 d) the analysis time of analytical electron microscopes can be shortened. The quantity or magnitude of the sample drift during analysis of the elements becomes small and the precision of the analysis positions is improved. In general, more than the critical number of X-ray photons generated by the electron irradiation becomes necessary in order to perform a precise analysis.

The electron beams generated by the laser irradiation electron gun have a plurality of the features enumerated below:

- 5 i) the energy distribution of the electrons is narrow.
- ii) the kinetic energy is continuously stable.
- iii) the intensity is continuously stable at least in an interval of more than one second.
- 10 iv) the focusing is excellent.

#### Example

15 An example shall now be explained in order to set forth the invention in detail. The invention is not, of course, restricted to the following exemplary embodiment.

As shown in figs. 1 and 2, a laser or laser beam  
20 emitted by a laser oscillator (6) is adjusted by a lens (7a and 7b) and its direction is oriented by reflection mirrors (8a, 8b). The laser or laser beam is introduced into the inside or the interior of an electron gun (18) through a window (9), said electron gun comprising a  
25 lens (10) and a transparent glass (11). The laser is then focused by a further reflection mirror (16) or a concave mirror and passes to a pointed part (a part having a small radius of curvature) of a filament (12). The focusing and orientation of the laser radiation may  
30 be carried out by observing the pointed part of the filament (12), it being possible for the image of the pointed part to be magnified by a camera (15) through an observation window (14). Said focusing and orientation are achieved by control of the lens (7a, 7b  
35 and 10) and furthermore by the reflection mirrors (8a, 8b and 16). The filament (12) is heated by the laser radiation and its temperature is controlled by electrical heating. During this temperature control, the filament temperature is detected and regulated by a

pyroscope through window (14). A large number of electrons are emitted from the surface of the filament tip part which is irradiated by the laser, and are dissipated by a dissipating electrode (13) set to a positive voltage. Said electrons are focused by a focussing electromagnet (17) and they are then conducted to a sample chamber of a microscope through an acceleration tube. The laser irradiation electron gun can also be used in apparatuses and technologies which require an electron gun having high intensity and high quality.

To summarize, the invention provides means for the laser irradiation of a pointed part or of a part having a small radius of curvature, of a filament, to be precise for an electron gun of the thermal field emission design or the thermionic emission design.

## Patent claims

1. A laser irradiation electron gun, which has the following: an electron gun of the thermal field  
5 emission design or of the thermionic emission design and means for the laser irradiation of a pointed part of a filament of the electron gun.
2. The electron gun as claimed in claim 1, wherein a  
10 laser oscillator (6) is provided.
3. The electron gun as claimed in one or more of the preceding claims, wherein the laser oscillator (6) is adjusted by lens means (7a, 7b), and wherein its  
15 direction is preferably oriented by reflection mirror means (8a, 8b).
4. The electron gun as claimed in one or more of the preceding claims, wherein laser radiation is conducted  
20 into the electron gun (18) through window means (9).
5. The electron gun as claimed in claim 4, wherein the window means have lens means (10) and a transparent glass (11).  
25
6. The electron gun as claimed in one or more of the preceding claims, wherein the laser is focused by a further reflection mirror (16) or a concave mirror.
- 30 7. The electron gun as claimed in one or more of the preceding claims, wherein the focusing and the orientation are achieved by control of the lens means (7a, 7b, 10) and/or reflection mirrors (8a, 8b, 16).
- 35 8. The electron gun as claimed in one or more of the preceding claims, wherein the filament (12) is heated by laser irradiation and the temperature is controlled by electrical heating.



9. The electron gun as claimed in one or more of the preceding claims, wherein the temperature control is based on the detection of the filament temperature and a pyroscope performs the regulation.

5

---

Accompanied by 2 pages of drawings

---